

Pengolahan Limbah Campuran Logam Fe, Cu, Ni dan Amonia Menggunakan Metode Flotasi-Filtrasi dengan Zeolit Alam Lampung Sebagai Bahan Pengikat

Eva F. Karamah¹, Syafrizal², Adinda Nirmala Sari¹

¹Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Kampus Baru UI, Depok 16424

²Kelompok Bioteknologi, PPPTMGB "Lemigas", Jl. Ciledug Raya Cipulir, Jakarta Selatan

Abstract

Combination of flotation-filtration is a promising method to separate heavy metals and inorganic compounds in wastewater. This method has been recently used in many industrial processes, especially in wastewater treatment processes. However, the study of alternative bonding agent to improve the effectiveness of the method is still needed. Hence, this research used Lampung natural zeolite as bonding agent, to eliminate heavy metals (Fe, Cu, and Ni) in synthetic wastewater containing heavy metals and inorganic (NH₃) compounds. Zeolite are selective to remove waste compounds, based on their sizes and polarities.

This research consists of zeolite preparation and its performance test as bonding agent in flotation-filtration process. There are 3 variations made in flotation-filtration process: variation of synthetic waste solution type (metals waste and metals - ammonia mixture), variation of pH, and variation of ammonia concentration in metals - ammonia mixture waste.

The results shows that, the optimum pH in processing heavy metals waste and metals - ammonia mixture waste are 8 and 9 respectively. The concentration of ammonia which gives significant removal percentage of heavy metals in processing metals - ammonia mixture waste is 40 mg/L.

Keywords : Flotation-filtration, Lampung Natural zeolite, heavy metals, ammonia.

Pendahuluan

Limbah yang ditemukan pada air sebagian besar merupakan campuran dari beberapa jenis limbah. Contohnya, campuran antara limbah logam berat dan limbah anorganik. Limbah logam berat yang terdapat pada air diantaranya, besi (Fe), tembaga (Cu) dan nikel (Ni). Limbah Fe dapat menimbulkan bahaya bagi kulit dan pencernaan. Limbah Cu dapat menyebabkan kerusakan hati dan ginjal. Sedangkan limbah Ni dapat merusak sel-sel darah dan ginjal jika terkonsumsi dalam jumlah banyak. Limbah amonia yang terkandung dalam air sangat berbahaya bagi manusia jika masuk ke dalam tubuh.

Standar baku mutu limbah yang ditetapkan pemerintah berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup KEP-02/MENKLH/I/1988 untuk air limbah Golongan III adalah: Fe 10 mg/L, Cu 3 mg/L, Ni 0,5 mg/L dan amonia 5 mg/L. Pada kenyataannya banyak sungai yang mengandung limbah lebih tinggi dari yang telah ditetapkan. Contohnya, Sungai Cisdane kandungan tembaga (Cu) 48,91 mg/L dan nikel (Ni) 310 mg/L, (Prabowo, H.E., 2004). Sungai Bojong, Kecamatan Tarumajaya, kandungan Amonia mencapai 19,52 mg/L, dan Sungai CBL (Cikarang Bekasi Laut), kandungan amoniak mencapai 30,73 mg/L. (Fai, 2002)

Berbagai metode pengolahan limbah dapat dilakukan untuk mengurangi kadar logam berat dan

amonia yaitu pertukaran ion, Sentrifugasi, flotasi udara, mikrofiltrasi, dan osmosis balik. Masing-masing metode memiliki kelemahan yang berbeda-beda misalnya, metode mikrofiltrasi memiliki masalah dengan pengotor (*fouling*) sehingga membran yang digunakan tidak berumur lama. Sedangkan metode flotasi udara memiliki kelemahan dalam mempertahankan ikatan antara gelembung dengan materi yang akan dipisahkan. Namun jika kedua metode tersebut digabungkan akan terbentuk suatu kondisi yang saling menguntungkan. Dimana, masalah pengotor pada membran dapat diminimalisasi dengan adanya udara yang disemprot dari bawah kolom untuk menghilangkan pengotor yang menempel pada dinding membran. Dan dengan adanya flotasi udara maka kerja membran akan berkurang sehingga energi yang dibutuhkan untuk mengoperasikan membran akan berkurang juga, umur membran pun akan lebih tahan lama.

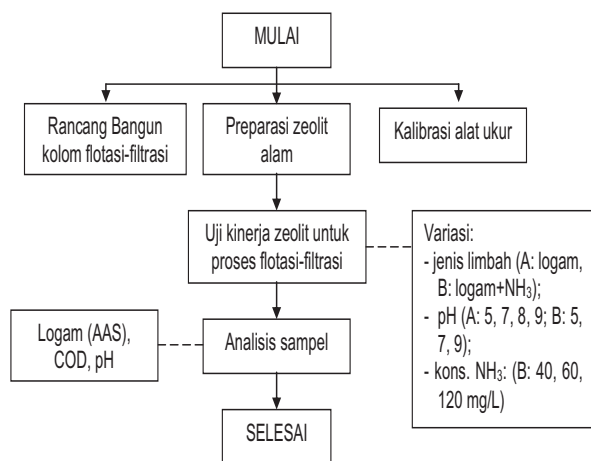
Metode flotasi-filtrasi merupakan gabungan antara proses flotasi dan filtrasi yang bertujuan untuk memisahkan partikel-partikel padat atau cair dari suatu limbah berfasa cair. Keuntungan menggunakan flotasi-filtrasi diantaranya selektivitas yang tinggi, beroperasi pada keadaan ambien, tidak terjadi perubahan fasa pada proses penyisihan, unit operasi yang kecil dan sederhana. Dalam penelitian kali ini flotasi yang digunakan adalah metode *sorptive flotation* yaitu flotasi yang menggunakan bahan

pengikat untuk mengikat partikel yang ingin dipisahkan. Salah satu bahan pengikat yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah zeolit alam Lampung yang berfungsi sebagai penukar ion, penyaring dan absorbent karena strukturnya yang berupa kristal berpori.

Pada penelitian ini, gas yang disemprotkan dalam bentuk gelembung (*bubbling*) adalah campuran udara-ozon. Pemilihan ozon sebagai gas *bubbling* didasarkan pada kemampuan ozon yang lebih baik dalam mengoksidasi logam dari pada oksigen (ozon lebih bersifat oksidator). Di samping itu kelarutan ozon juga lebih besar daripada oksigen sehingga oksidasi akan berlangsung lebih cepat. Dengan ozon sebagai gas *bubbling* diharapkan pemisahannya berlangsung lebih cepat dengan efisiensi lebih besar dibandingkan dengan oksigen. Biasanya derajat pemisahan flotasi dinaikkan dengan penambahan senyawa-senyawa aditif kimia. Dengan ozon sebagai gas *bubbling* akan memberi keuntungan yang lebih, karena ozon merupakan senyawa aditif kimia yang berfungsi sebagai disinfektan dan koagulan, sehingga flotasi dengan ozon tidak perlu menambahkan atau mengurangi dosis senyawa aditif kimia dan air hasil pemisahan lebih terjamin untuk digunakan dalam pemenuhan kebutuhan proses industri, serta jumlah logam hasil pemisahannya juga lebih besar sehingga memungkinkan untuk diolah lebih lanjut (*Recovery*) atau digunakan kembali (*recycle*). Dengan demikian proses ini sangat efektif digunakan untuk mengolah limbah fasa cair dengan kandungan logam-logam berat (Karamah dan Bismo, 2008).

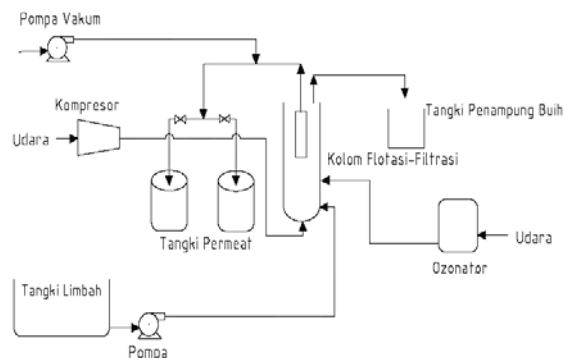
Metodologi

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Peralatan yang dalam proses flotasi-filtrasi terangkai menjadi suatu sistem, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Peralatan Proses Flotasi-Filtrasi

Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini dilakukan 3 variasi proses flotasi-filtrasi yaitu :

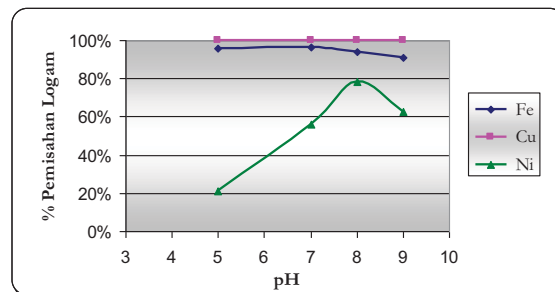
- Variasi jenis limbah: A (limbah campuran logam Fe, Cu dan Ni) dan B (limbah campuran logam dan NH_3).
- Variasi pH awal limbah (A: 5,7,8,9 dan B: 5,7,9)
- konsentrasi amonia dalam limbah logam B: 40, 60, 120 mg/L)

Terdapat 3 parameter yang diamati dari ketiga variasi proses flotasi-filtrasi yaitu, persentase pemisahan logam, pH akhir air, dan COD akhir air.

Bahan-bahan kimia tambahan yang digunakan dalam proses flotasi-filtrasi adalah polyaluminium chloride (PAC) sebagai koagulan, sodium lauryl sulphate (SLS) sebagai surfaktan, zeolit alam lampung dengan konsentrasi berturut-turut sebesar, 0,013 g/L, 0,2 g/L dan 2 g/L.

a. Pengaruh Variasi pH Awal Terhadap Persentase Pemisahan Logam

Pengaruh pH awal pencampuran terhadap presentase pemisahan ion logam Fe^{3+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} dalam limbah campuran dapat dilihat pada Gambar 3. pH awal limbah divariasikan menjadi 5, 7, 8, dan 9.

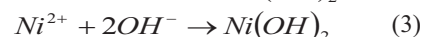
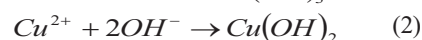
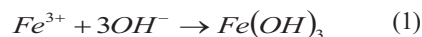


Gambar 3. Pengaruh Variasi pH Awal Dalam Limbah Campuran Logam Fe, Cu, Dan Ni

Penyisihan logam dengan metode flotasi-filtrasi menggunakan zeolit alam lampung dipengaruhi oleh 3 mekanisme penting yaitu, pengendapan (presipitasi),

peran zeolit sebagai adsorben atau penukar ion dan filtrasi oleh membran.

Pada saat pencampuran awal, dilakukan pengaturan pH menggunakan NaOH sehingga terjadi reaksi antara gugus OH^- dari NaOH dengan ion-ion logam Fe^{3+} , Cu^{2+} , dan Ni^{2+} . Reaksi tersebut akan menghasilkan hidroksida logam, dengan persamaan reaksi sebagai berikut :



Hidroksida logam yang dihasilkan akan membentuk endapan tidak larut, sehingga semakin banyak hidroksida logam yang terbentuk akan semakin besar persentase penyisihan logam. Kelarutan hidroksida logam sangat dipengaruhi oleh pH larutan. Semakin tinggi pH larutan maka kelarutan hidroksida logam Fe, Cu dan Ni akan semakin kecil. (Ayers, David. Et al. 1994)

Kemampuan pertukaran ion zeolit terhadap logam akan menurun seiring dengan penurunan pH larutan. Hal ini disebabkan karena pada pH yang rendah jumlah H^+ yang terbentuk akan lebih banyak, ion H^+ merupakan pesaing dari kation logam dalam proses pertukaran ion dengan zeolit (Calgin, Vulkan, 2006).

Namun bukan berarti pH yang paling tinggi adalah pH yang optimum, karena pada pH tinggi terjadi kemungkinan terbentuknya endapan hidroksida atau karbonat dalam pori-pori atau saluran zeolit dan juga di permukaan zeolit. Endapan ini kemungkinan akan menghambat jalannya proses pertukaran ion pada zeolit (Ouki, Sabeha And Kavannagh, 1996).

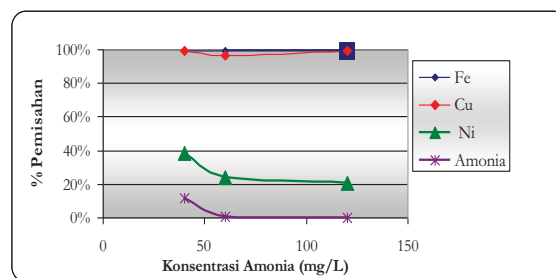
Dalam proses filtrasi kompetisi logam dipengaruhi oleh ukuran logam hidroksida yang terbentuk. Semakin besar ukuran molekul hidroksida yang terbentuk maka persentase penyisihannya akan semakin besar karena molekul dengan ukuran yang besar tidak dapat melewati pori-pori membran. Membran keramik yang digunakan dalam penelitian ini memiliki ukuran pori-pori 0,2 nm.

Ukuran atom dipengaruhi oleh jari-jari dan keelektronegatifan atom. Berdasarkan tabel periodik, jari-jari atom berturut-turut dari besar ke kecil adalah $\text{Fe} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{O} > \text{H}$. Sedangkan keelektronegatifan atom berturut-turut dari besar ke kecil adalah $\text{O} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Fe} > \text{H}$.

Molekul logam yang akan dipisahkan oleh membran berupa hidroksida, berdasarkan jari-jari atom dan keelektronegatifan zat penyusunnya maka dapat diperkirakan molekul mana yang paling besar. Urutan molekul hidroksida logam berturut-turut dari besar ke kecil adalah $\text{Fe}(\text{OH})_3 > \text{Ni}(\text{OH})_2 > \text{Cu}(\text{OH})_2$.

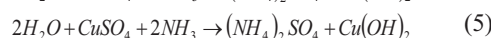
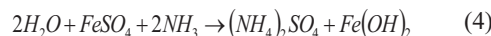
b. Pengaruh Variasi Konsentrasi Amonia Terhadap Persentase Pemisahan Logam

Limbah yang digunakan pada bagian ini merupakan campuran limbah logam berat dengan amonia, dengan komposisi 40 mg/L untuk masing-masing logam besi, tembaga dan nikel. Sedangkan untuk amonia konsentrasinya divariasikan menjadi 40 mg/L, 60 mg/L, dan 120 mg/L. Proses flotasi-filtrasi dilakukan pada pH 7.

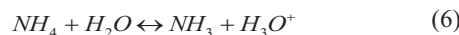


Gambar 4 Variasi Konsentrasi Amonia Dalam Limbah Campuran Logam Dan Amonia

Pada Gambar 4 terlihat bahwa konsentrasi amonia tidak terlalu mempengaruhi proses penyisihan logam besi dan tembaga. Persentase penyisihan logam besi dan tembaga akan mengalami sedikit kenaikan dengan bertambahnya amonia. Hal ini disebabkan karena terjadinya reaksi antara amonia dengan besi dan tembaga yang menyebabkan presipitasi logam. Sehingga besi dan tembaga akan semakin mudah untuk dipisahkan. Reaksi antara ammonia dengan garam logam yaitu :



Sedangkan untuk nikel semakin besar konsentrasi amonia maka persentase penyisihan nikel akan semakin menurun. Hal ini disebabkan oleh semakin menurunnya pH limbah seiring dengan semakin tingginya konsentrasi amonia. Karena dalam air amonia akan mengalami hidrolisis dengan reaksi sebagai berikut :

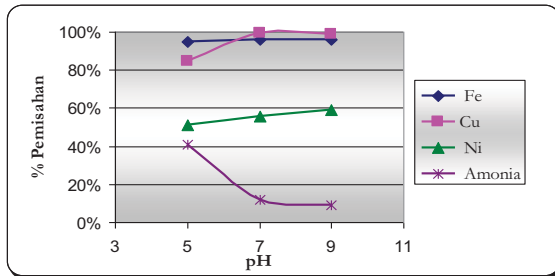


Seperti telah dibahas pada bagian a bahwa pada pH di bawah 8, nikel hidroksida akan terlarut dalam air sehingga akan mempersulit proses penyisihan nikel.

c. Pengaruh Variasi pH Awal Limbah Campuran Logam Dan Amonia Terhadap Persentase Pemisahan Logam

Limbah yang digunakan pada bagian ini merupakan campuran limbah logam berat dengan amonia, dengan komposisi 40 mg/L untuk masing-

masing logam besi, tembaga nikel dan amonia. Proses flotasi-filtrasi dilakukan pada pH 5, 7, dan 9.

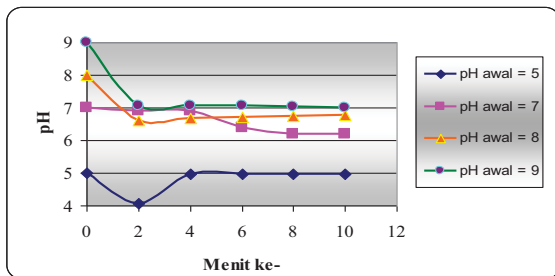


Gambar 5 Pengaruh Variasi pH Awal Limbah Campuran Logam Dan Amonia

Dari Gambar 5 terlihat bahwa pengaruh variasi pH awal dalam campuran limbah Fe, Cu, Ni dan amonia menghasilkan kecenderungan kenaikan persentase penyisihan logam Fe, Cu, dan Ni seiring dengan bertambahnya nilai pH larutan. Seperti pada variasi pH awal campuran limbah Fe, Cu, dan Ni. Hal ini disebabkan karena konsentrasi amonia yang digunakan kecil dalam proses yang berlangsung kontinyu sehingga tidak memberikan banyak pengaruh dalam proses penyisihan logam.

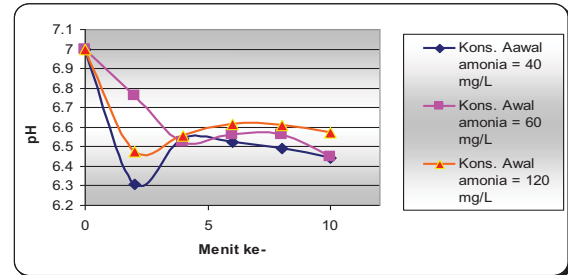
d. pH Akhir Air Yang Dihasilkan

Pengaruh variasi pH terhadap pH akhir air hasil olahan limbah campuran logam dapat terlihat pada Gambar 6.



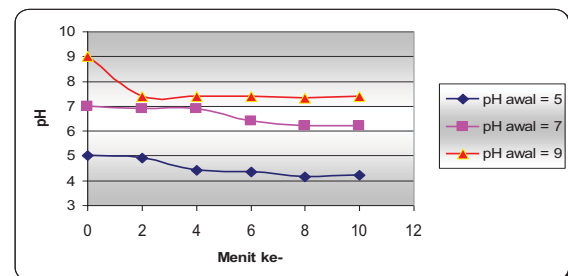
Gambar 6 Pengaruh Variasi pH Awal Terhadap pH Akhir Air Hasil Olahan Limbah Campuran Logam

Pengaruh variasi konsentrasi amonia terhadap pH akhir air hasil olahan limbah campuran logam dan amonia dapat terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Pengaruh Variasi Konsentrasi Amonia Terhadap pH Akhir Air Hasil Olahan

Pengaruh variasi pH terhadap pH akhir air hasil olahan limbah campuran logam dan amonia dapat terlihat pada Gambar 8.



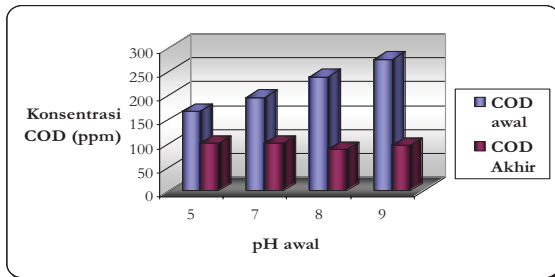
Gambar 8 Pengaruh Variasi pH Terhadap pH Akhir Air Hasil Olahan Limbah Campuran Logam Dan Amonia

Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah dilakukan proses flotasi-filtrasi, setiap variasi yang dilakukan memiliki kecenderungan yang sama yaitu menurunnya pH air hasil olahan. Hal ini disebabkan oleh penambahan PAC sebelum dilakukan proses flotasi-filtrasi, PAC merupakan koagulan yang bersifat asam. Pada saat dilarutkan ke dalam air ion Al^{3+} dari PAC akan bereaksi dengan air dan akan mengikat ion hidroksida dan melepaskan H^+ sehingga pH air akan turun. Penggunaan ozon juga akan menurunkan pH larutan karena ozon akan mengoksidasi logam dan amonia. Reaksi oksidasi ini akan melepas ion H^+ .

Setelah dilakukan penambahan amonia pH larutan akan semakin turun karena amonia akan mengalami hidrolisis dalam air yang melepas ion H^+ .

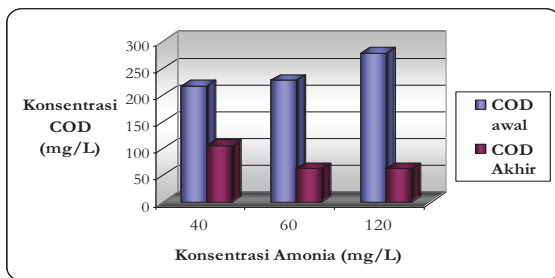
e. COD Akhir Air Yang Dihasilkan

Pengaruh variasi pH terhadap COD akhir air hasil olahan limbah campuran logam dapat terlihat pada Gambar 9.



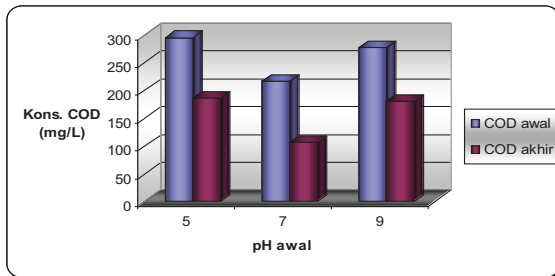
Gambar 9 Pengaruh Variasi pH Awal Terhadap COD Akhir Air Hasil Olahan Limbah Campuran Logam

Pengaruh variasi konsentrasi amonia terhadap COD akhir air hasil olahan limbah campuran logam dan amonia dapat terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Pengaruh Variasi Konsentrasi Amonia Terhadap COD Akhir Air Hasil Olahan

Pengaruh variasi pH terhadap COD akhir air hasil olahan limbah campuran logam dan amonia dapat terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Pengaruh Variasi pH Terhadap COD Akhir Air Hasil Olahan Limbah Campuran Logam Dan Amonia

Pada Gambar 9 terlihat bahwa semakin tingginya pH awal limbah maka nilai COD pun akan meningkat. Hal ini disebabkan oleh adanya SLS dalam limbah, SLS merupakan senyawa organik yang dapat dioksidasi. Dengan semakin tingginya nilai pH awal maka, tegangan permukaan SLS akan semakin kuat sehingga proses oksidasi akan sulit berjalan dan nilai COD akan meningkat.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah dilakukan proses flotasi-filtrasi, setiap variasi yang dilakukan memiliki kecenderungan yang sama yaitu menurunnya nilai COD. Hal ini disebabkan SLS dalam limbah sebagian besar akan terbuang dalam proses. Dimana, SLS tersebut akan menghasilkan busa

yang akan menjadi media pembawa logam dan amonia yang telah terikat pada zeolit keluar dari kolom flotasi-filtrasi.

Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses flotasi-filtrasi limbah yang mengandung logam Fe, Cu dan Ni dengan konsentrasi awal masing-masing logam adalah 40 mg/L berlangsung secara optimum pada pH 8. Dengan persentase penyisihan Cu 99,7 %, Fe 93,6 %, dan Ni 78,5 %.
2. Pengaruh amonia pada proses flotasi-filtrasi secara kontinyu selama 10 menit untuk penyisihan logam Fe dan Cu tidaklah signifikan. Namun, persentase pemisahan nikel semakin kecil seiring dengan kenaikan konsentrasi amonia.
3. Proses flotasi-filtrasi limbah yang mengandung logam Fe, Cu, Ni dan amonia dengan konsentrasi awal masing-masing logam dan amonia adalah 40 mg/L berlangsung secara optimum pada pH 9. Dengan persentase penyisihan Cu 99,7 %, Fe 96,3 %, dan Ni 58,3 %.

Daftar Pustaka

- Ayers, David, et al., *Removing heavy metals from wastewater*. University Maryland. 1994.
- Çagin, Volkan .*Use Of Clinoptilolite For Copper And Nickel Removal From Aqueous Solutions*. The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University, 2006
- Fai. Pencemaran 10 Sungai Bekasi Mengkhawatirkan. www.inawater.com. 2002
- Karamah, Eva F. dan Setijo Bismo, Pengaruh Ozon Dan Konsentrasi Zeolit Terhadap Kinerja Proses Pengolahan Limbah Cair Yang Mengandung Logam Dengan Proses Flotasi, *Jurnal Makara seri Teknologi*, edisi Maret 2008.
- Ouki, Sabeha Kesraoui and Mark Kavannagh, *Performance of Natural Zeolites for the Treatment of Mixed Metal-Contaminated Effluents*, Department Civil Engineering, University Of Surrey. London. 1996.
- Stefica Cerjan-Stefanovic, *Evaluation of Croatian Clinoptilolite- and Montmorillonite-rich Tuffs for Ammonium Removal*, Department of Analytical Chemistry, Croatia, 2000.